

## 明 細 書

### 貼り合わせウェーハの製造方法

#### 技術分野

- [0001] この発明は貼り合わせウェーハの製造方法、詳しくはスマートカット法を利用し、活性層用ウェーハにCOPなどの結晶欠陥が存在しない高品質の貼り合わせウェーハを製造する技術に関する。

#### 背景技術

- [0002] 近年、SOI(Silicon On Insulator)構造を有した半導体基板を製造する方法として、特許文献1に記載されたスマートカット法が開発されている。

これは、酸化膜が形成され、水素を所定深さ位置にイオン注入した活性層用ウェーハと、支持用ウェーハとを室温で貼り合わせ、その後、得られた貼り合わせウェーハを熱処理炉に挿入して熱処理し、そのイオン注入領域から活性層用ウェーハの一部を剥離する方法である。これにより、支持用ウェーハと活性層との間に埋め込みシリコン酸化膜を介在した貼り合わせSOI基板が得られる。

- [0003] ところで、近年のMOS型デバイスの高集積化に伴い、ゲート酸化膜が薄膜化されてソース・ドレインなどが浅くなっている。そのため、ゲート酸化膜の絶縁耐圧特性の向上および接合リーク電流の低減が強く要請されている。しかしながら、CZ法を用いたシリコン単結晶インゴットの引き上げ時におけるシリコン育成速度は、1.0～2.0mm/minと高速度であった。そのため、このインゴットをスライスしたシリコンウェーハ(以下、高速引き上げウェーハ)には、COP(Crystal Originated Particle)、OSF(Oxidation Induced Stacking Fault)などの結晶欠陥が多数存在する。これは、結晶引き上げ時に取り込まれる格子間シリコン、空孔、酸素が冷却中の熱履歴によって複雑な反応が起こるという理由による。その結果、ゲート酸化膜の絶縁耐圧特性などが劣り、最近のMOS型デバイスのさらなる高集積化には対応が困難であった。

- [0004] このような問題を解消する従来法として、例えば特許文献2に記載されたものが知られている。特許文献2では、CZ法における引き上げ速度を0.8mm/min以下とし

てシリコン単結晶インゴットを育成する。シリコンを低速度で育成することで、引き上げ界面で取り込まれる格子間シリコンと空孔が対消滅し、空孔の集合体であるCOPの密度を減少あるいは消滅させることが可能となり、また酸素析出に必要とされる空孔密度が下がるためにシリコン単結晶インゴット中に酸素析出物が析出され難くなる。

[0005] 特許文献1: 日本国特開平5-211128号公報

特許文献2: 日本国特開平2-267195号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0006] そこで、このような低速引き上げのシリコンウェーハ(以下、低速引き上げウェーハ)を製造する技術を、スマートカット法に応用することが考えられる。すなわち、低速引き上げウェーハをスマートカット法により作製される貼り合わせSOI基板の活性層用ウェーハに利用する。そうすれば、活性層中にCOPなどの結晶欠陥が存在しない貼り合わせSOI基板を得ることができる。

しかしながら、低速引き上げウェーハを利用すれば、高速引き上げウェーハに比べて引き上げに長時間を要し、歩留りも悪くなる。その結果、貼り合わせSOI基板の製造コストが高騰するおそれがあった。

[0007] また、従来、例えばボロン濃度 $1 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^3$ 前後のp型の活性層用ウェーハを熱酸化炉に挿入し、活性層用ウェーハにシリコン酸化膜を形成する場合、シリコン酸化膜の形成速度は $4 \sim 5 \times 10^{-4} \mu\text{m/min}$ 程度であった(加熱温度 $1000^\circ\text{C}$ : ドライ酸素酸化)。その結果、埋め込みシリコン酸化膜の形成に時間がかかっていた。

さらには、イオン注入時、活性層用ウェーハに水素をイオン注入すると、活性層用ウェーハにイオン注入ダメージが発生し、活性層の品質を低下させていた。

[0008] この発明は、スマートカット法を採用した貼り合わせウェーハにおいて、結晶欠陥が存在しない活性層を有した貼り合わせウェーハを、低コストおよび高スループットで製造することができ、しかもイオン注入による活性層のダメージを低減し、活性層の高品質化を図ることができ、さらには埋め込み絶縁膜の形成時間も短縮させることができる貼り合わせウェーハの製造方法を提供することを、その目的としている。

課題を解決するための手段

[0009] 第1の発明は、活性層用ウェーハに、ボロンが含まれたエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程と、該エピタキシャル層の表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、上記絶縁膜の形成後、上記エピタキシャル層の所定深さ位置に軽元素をイオン注入してイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、イオン注入後、上記活性層用ウェーハと支持用ウェーハとを、上記絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、該貼り合わせウェーハを熱処理し、上記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、上記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0010] 第1の発明によれば、貼り合わせウェーハを剥離熱処理すると、エピタキシャル層のイオン注入領域内に軽元素バブルが形成される。これにより、埋め込み絶縁膜を介して、支持用ウェーハ側にエピタキシャル層の一部を構成する活性層を残し、エピタキシャル層の残部が活性層用ウェーハと共に剥離される。したがって、活性層は結晶欠陥が存在しないエピタキシャル成長により得られた層となる。

その結果、スマートカット法を採用した貼り合わせウェーハにおいて、結晶欠陥が存在しない活性層を有する貼り合わせウェーハを、従来の低速引き上げウェーハよりも高スループットで、歩留りも大きい高速引き上げウェーハを利用して作製することができる。しかも、例えばエピタキシャル層の表面に絶縁膜として酸化膜を形成する場合には、エピタキシャル層内のp型不純物(ボロン)の濃度が高いため、酸化膜の形成速度が速まる。

これは、以下の理由による。まず、酸化種(Oxidizing Species; $O_2$ または $H_2O$ )がエピタキシャル層表面のシリコンと反応し、酸化膜を形成する。シリコン中のホウ素(ボロン)は、形成された酸化膜中に偏析する。そして、この酸化膜中のホウ素は、 $SiO_2$ 網目構造の結合を弱める働きを行う。これにより、酸化種(Oxidizing Species; $O_2$ または $H_2O$ )の拡散を促進させ、酸化速度を増大させることになる。その結果、貼り合わせウェーハの絶縁膜形成のスループットがさらに高まる。

また、エピタキシャル層にp型不純物を高濃度に添加すると、ドーピングによってフェルミ準位が伝導帯もしくは価電子帯に近づき、帯電した空孔の発生およびキンクサ

イトの発生がそれぞれ促進されて、イオン注入によりダメージを受けたシリコン領域（非晶質層）中のシリコン原子の捕獲箇所が増加する。これにより、水素のイオン注入によるエピタキシャル層の結晶欠陥は、p型不純物を低いドーパ濃度でエピタキシャル層にドーピングした場合と比較して、その後に熱処理を行った際の回復（再結晶化）がより速まる。その結果、イオン注入による活性層のダメージが低減され、活性層の高品質化が図れる。高濃度ボロンのエピタキシャル層を成膜する基板はシリコンウェーハであるが、シリコンウェーハの比抵抗（ドーパント濃度）は限定されない。ただし、エピタキシャル層と基板とのドーパント濃度の差が大きくなれば、格子定数のミスマッチングによるミスフィット転位が発生する可能性があるので、エピタキシャル層と基板との間で同程度の値の比抵抗が好ましい。

[0011] 活性層用ウェーハはシリコンウェーハである。

絶縁膜としては、例えば酸化膜などを採用することができる。

絶縁膜の厚さはエピタキシャル層より薄ければ限定されない。例えば、 $0.2\mu\text{m}$ 未満、好ましくは $0.1\sim 0.2\mu\text{m}$ である。

活性層の厚さは限定されない。例えば、厚膜の活性層では $1\sim 10\mu\text{m}$ である。また、薄膜の活性層では $0.01\sim 1\mu\text{m}$ である。

[0012] 活性層用ウェーハにエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長装置は限定されない。例えば、気相エピタキシャル成長装置を採用することができる。気相エピタキシャル成長装置としては、例えば活性層用ウェーハを1枚ずつエピタキシャル成長処理する枚葉式エピタキシャル成長装置でもよい。また、複数枚の活性層用ウェーハを一度に処理するバッチ式のエピタキシャル成長装置でもよい。

原料ガスとしては、例えば $\text{SiH}_4$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiHCl}_3$ 、 $\text{SiCl}_4$ などを採用することができる。

キャリアガスとしては、例えば水素ガス、不活性ガスなどを採用することができる。

気相エピタキシャル成長装置の炉内を加熱する加熱手段としては、例えばハロゲンランプ、赤外線ランプなどを採用することができる。

[0013] 活性層用ウェーハおよびエピタキシャル層に含有されるp型不純物としては、例えばボロンを採用することができる。

活性層用ウェーハの不純物の濃度は限定されない。

- [0014] 軽元素としては、例えば水素(H)の他、希ガスの元素であるヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)、ラドン(Rn)などでもよい。これらの単体または化合物でもよい。

イオン注入時の軽元素のドーズ量は限定されない。例えば $2 \times 10^{16} \sim 8 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>である。

軽元素のイオン注入時の加速電圧は、50keV以下、好ましくは30keV以下、さらに好ましくは20keV以下である。イオン注入は、低加速電圧ほど目標深さにイオンを集中させることができる。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱温度は400℃以上、好ましくは400～700℃、さらに好ましくは450～550℃である。400℃未満では、活性層用ウェーハにイオン注入された軽元素から軽元素バブルを形成することが難しい。また、700℃を超えると、活性層内に酸素析出物が形成されてしまいデバイス特性の低下を招くおそれがある。

- [0015] 剥離時の炉内雰囲気は、非酸化性ガス(窒素、アルゴンなどの不活性ガス)の雰囲気でもよい。また、真空中でもよい。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱時間は1分間以上、好ましくは10～60分間である。1分間未満では、貼り合わせウェーハにイオン注入された軽元素をバブル化することが困難になる。

剥離工程後、活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせ熱処理の強度を高める貼り合わせ熱処理を施してもよい。この際の熱処理条件は、例えば1100℃、2時間である。熱酸化炉内の雰囲気ガスとしては、酸素などを採用することができる。

- [0016] 第2の発明は、第1の発明にあつて、上記エピタキシャル層に含まれるボロン濃度は $5 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>以上である貼り合わせウェーハの製造方法である。

- [0017] 第2の発明によれば、エピタキシャル層のボロン濃度が $5 \times 10^{18}$  atoms/cm<sup>3</sup>未満では酸化膜成長速度改善効果およびイオン注入損傷領域回復効果が小さくなる。エピタキシャル層の好ましいボロン濃度は、 $8 \times 10^{18} \sim 2 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>である。

- [0018] 第3の発明は、第1の発明または第2の発明にあつて、上記エピタキシャル層の厚さ

が $0.3\mu\text{m}$ 以上である貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0019] 第3の発明によれば、エピタキシャル層の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 未満では、活性層用ウェーハに存在するCOPをエピタキシャル層により埋めきれず、エピタキシャル層の表面にくぼみが残る。また、エピタキシャル層の厚さが $0.3\mu\text{m}$ 未満では、エピタキシャル層を含む活性層用ウェーハに、所定厚さ( $0.2\mu\text{m}$ 程度)の絶縁膜(酸化膜)を形成することができない。

逆に、厚すぎてもエピタキシャル層を形成するためのコストが高くなる。薄膜SOIの場合、エピタキシャル層の好ましい厚さは $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ であり、厚膜SOIの場合は $1\sim 2\mu\text{m}$ である。SOI構造を形成した後、さらにエピタキシャル成膜した方が好ましい。

[0020] 第4の発明は、第1～第3の発明のいずれかにあつて、上記イオン注入領域は、上記エピタキシャル層内に形成される貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0021] 第5の発明は、第1～第4の発明のいずれかにあつて、上記絶縁膜の厚みは、 $0.2\mu\text{m}$ 未満である貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0022] 第5の発明によれば、上記絶縁膜の厚みは、 $0.2\mu\text{m}$ 未満である。 $0.2\mu\text{m}$ 以上であると、上記エピタキシャル層内に上記イオン注入領域を形成することができない。

[0023] 第6の発明は、絶縁膜が形成され、 $9\times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 以上のボロンを含有し、 $12\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ (old ASTM)未満の酸素濃度を有する活性層用ウェーハの所定深さ位置に軽元素をイオン注入し、上記活性層用ウェーハにイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、その後、イオン注入された活性層用ウェーハと支持用ウェーハとを、絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、該貼り合わせウェーハを熱処理し、上記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、上記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0024] 第6の発明によれば、活性層用ウェーハ用のインゴット(例えばシリコン単結晶インゴット)の引き上げ時、結晶中にはボロンが $9\times 10^{18}\text{atoms}/\text{cm}^3$ を超える量が含まれている。そのため、引き上げ中のインゴットに結晶欠陥は存在しない。これは、ボロン濃度の増大に伴い、原子サイズの小さいボロンがドーピングされることでシリコン格子が

圧縮され、その圧縮を緩和するために格子間シリコンが増加する。その結果、格子間シリコンの熱平衡濃度が増大し、空孔濃度と比較して大きくなるため、COPの原因となる空孔が過剰に存在する領域がなくなる。

剥離時、活性層用ウェーハのイオン注入領域内で軽元素バブルが形成される。その結果、埋め込み絶縁膜を介して、支持用ウェーハ側に活性層を残し、活性層用ウェーハの本体部分が剥離される。よって、スマートカット法を採用した貼り合わせウェーハにおいて、結晶欠陥が存在しない活性層を有する貼り合わせウェーハを、従来の低速引き上げウェーハよりも高スループットで、歩留りも大きい高速引き上げウェーハを利用して作製することができる。しかも、第3の発明はインゴット中のボロン濃度を高めるだけでよい。そのため、活性層に結晶欠陥が存在しない貼り合わせウェーハを低コストで作製することができる。

[0025] また、例えば活性層用ウェーハに酸化膜(絶縁膜)を形成するとき、活性層用ウェーハ内にはボロンが高濃度( $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ )に含まれている。ウェーハ中の不純物の濃度が高ければ、酸化膜の形成速度は速まる。そのため、活性層用ウェーハに絶縁膜を形成するスループットはさらに高まる。しかも、この活性層用ウェーハの酸化過程では、シリコン中より $\text{SiO}_2$ のボロン固溶度が大きいため、酸化膜に活性層用ウェーハ中のボロンが局在(偏析)する。その結果、酸化膜との界面近傍のシリコン中において、最終的にSOI構造の活性層となる領域のボロン濃度は元々の基板のボロン濃度より低くなる。

また、活性層用ウェーハにp型不純物が高濃度に含まれると、活性層用ウェーハの帯電した空孔の発生およびキンクサイトの発生がそれぞれ促進される。これにより、水素のイオン注入による結晶欠陥の回復(再結晶化)が速まる。そのため、イオン注入による活性層ダメージが低減され、活性層の高品質化が図れる。

[0026] 活性層用ウェーハの好ましいボロン濃度は $12 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上(比抵抗 $\rho \leq 6 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ )である。活性層用ウェーハのボロン濃度が $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 未満( $\rho > 10 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ )では、結晶引き上げ条件によってはCOPが消えない。

また、活性層用ウェーハは、比抵抗 $\rho$ が $10 \text{ m}\Omega \text{ cm}$ 以下であり、格子間酸素原子濃度 $O_i$ が $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 未満[old ASTM 換算]、酸化膜(絶縁膜)の形成

温度が1000℃を超える製造条件を満足させた場合、活性層用ウェーハの剥離後も酸化析出物、OSFなどの結晶欠陥が発生することがない。これにより、活性層用ウェーハを再使用することができる。

[0027] 第7の発明は、第1～第6の発明のいずれかにあつて、上記活性層用ウェーハへの絶縁膜の形成後または上記活性層用ウェーハの剥離後に、水素ガスを含む還元ガス雰囲気、上記活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対して1000℃以上、1時間以上のアニール処理を施す貼り合わせウェーハの製造方法である。

[0028] 第7の発明によれば、活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対して、絶縁膜の形成後または剥離後に所定の条件でアニール処理を施す。これにより、活性層用ウェーハの表層付近または活性層におけるp型不純物の外方拡散が促進され、活性層の比抵抗を低減させ、従来のp型活性層ウェーハから得られる1～10mΩcm程度の活性層が得られる。

[0029] アニール処理は、活性層用ウェーハへの絶縁膜の形成後でもよい。また、活性層用ウェーハの剥離後でもよい。

アニール温度が1000℃未満およびアニール時間が1時間未満ではボロンの外方拡散が十分ではなく、活性層におけるボロン濃度が要求値より高くなる。貼り合わせウェーハの好ましいアニール温度は1100～1200℃で、貼り合わせウェーハの好ましいアニール時間は1～4時間である。

#### 発明の効果

[0030] この発明によれば、活性層を結晶欠陥が存在しないエピタキシャル成長により作製されたエピタキシャル層としたので、スマートカット法により作製され、結晶欠陥が存在しない活性層を有した貼り合わせウェーハを、従来の低速引き上げウェーハを活性層用ウェーハに採用した場合に比べて、高スループットでかつ歩留りも大きく製造することができる。しかも、エピタキシャル層の不純物の濃度が高いので、絶縁膜の一種である酸化膜の形成時には、その形成速度が速まる。その結果、貼り合わせウェーハのスループットをさらに高めることができる。しかも、イオン注入による活性層のダメージを低減することができ、活性層の高品質化を図ることもできる。

[0031] また、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンを含有した結晶欠陥が存在しない活性層



をエピタキシャル成長により作製したので、スマートカット法により作製され、結晶欠陥が存在しない活性層を有した貼り合わせウェーハを、高スループットで歩留りも大きく製造することができる。しかも、エピタキシャル層の不純物の濃度が高いため、例えば酸化膜(絶縁膜)の形成速度が速まる。その結果、貼り合わせウェーハのスループットがさらに高まる。さらにまた、イオン注入による活性層のダメージを低減することができ、活性層の高品質化も図れる。

そして、活性層用ウェーハのボロン濃度を高めるだけで活性層の結晶欠陥を無くすることができるため、活性層に結晶欠陥が存在しない貼り合わせウェーハを低コストで作製することもできる。

- [0032] また、絶縁膜の形成後または剥離後に、所定の条件で活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対してアニール処理を施すので、活性層用ウェーハの表層付近または活性層におけるp型不純物の外方拡散が促進される。その結果、活性層の比抵抗を低減させることができる。

#### 図面の簡単な説明

- [0033] [図1]この発明の実施例1に係る貼り合わせウェーハの製造方法を示すフローシートである。

[図2]この発明の実施例2に係る貼り合わせウェーハの製造方法を示すフローシートである。

#### 符号の説明

- [0034] 10 活性層用ウェーハ、  
12a シリコン酸化膜(絶縁膜)、  
13 活性層、  
14 水素イオン注入領域(イオン注入領域)、  
20 支持用ウェーハ、  
30 貼り合わせウェーハ、  
40 エピタキシャル層。

#### 発明を実施するための最良の形態

- [0035] 以下、この発明の実施例を図面を参照して説明する。

## 実施例 1

[0036] まず、図1のS101工程に示すように、ボロンが約 $1 \times 10^{19}$  atoms/cm<sup>3</sup>と高濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度は、1.0mm/minである。シリコン単結晶インゴットの格子間酸素原子濃度Oiは $11 \times 10^{17} \sim 12 \times 10^{17}$  atoms/cm<sup>3</sup>である。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ725  $\mu$ m、直径200mm、比抵抗9m $\Omega$ cm、p型の鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10が得られる。

一方、ボロンが約 $1 \times 10^{15}$  atoms/cm<sup>3</sup>と低濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを順次施す。これにより、厚さ725  $\mu$ m、直径200mm、比抵抗10 $\Omega$ cm、p型の鏡面仕上げされた支持用ウェーハ20が得られる。

[0037] その後、図1のS102工程に示すように、活性層用ウェーハ10を熱酸化装置に挿入し、酸素ガス雰囲気中で熱酸化処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10の露出面の全域に、厚さ約0.15  $\mu$ mのシリコン酸化膜12aが形成される。熱処理条件は1000℃、180分間である。

次に、図1のS103工程に示すように、活性層用ウェーハ10の鏡面仕上げされた表面から所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、50keVの加速電圧で水素をイオン注入する。これにより、活性層用ウェーハ10に、水素イオン注入領域14が形成される。このときのドーズ量は、 $5 \times 10^{16}$  atoms/cm<sup>2</sup>である。

[0038] 続いて、図1のS104工程に示すように、活性層用ウェーハ10の表面と支持用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜12aを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10、20を貼り合わせて貼り合わせウェーハ30を作製する。このとき、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20とが、シリコン酸化膜12aを介して接合し、この接合部分のシリコン酸化膜12aが埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)12bとなる。貼り合わせの際、貼り合わせの強度を改善するために、プラズマ処理(プラズマ照射により表面を活性化すること)を施した面同士を貼り合わせる方法を用いてもよい。

[0039] それから、図1のS105工程に示すように、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離

熱処理装置に挿入し、500℃の炉内温度、窒素ガスの雰囲気中で熱処理する。熱処理時間は30分間である。これにより、支持用ウェーハ20の貼り合わせ界面側に活性層13を残し、活性層用ウェーハ10を水素イオン注入領域14から剥離する低温熱処理が施される。剥離された活性層用ウェーハ10の残部は、支持用ウェーハ20として再利用することができる。

- [0040] 剥離後、図1のS106工程に示すように、貼り合わせウェーハ30に対して、1100℃、2時間の貼り合わせ熱処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20との貼り合わせ強度が増強される。

次いで、図1のS107工程に示すように、活性層13の表面を研磨装置により研磨する。こうして、スマートカット法による貼り合わせSOI基板（貼り合わせウェーハ）が作製される。

- [0041] このように、活性層用ウェーハ用のシリコン単結晶インゴットの引き上げ時、結晶中にはボロンが $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ と多量に含有されているため、引き上げ中のシリコン単結晶インゴット、ひいては活性層13に結晶欠陥が存在しない。

実施例1では、シリコン単結晶インゴット中に高濃度にボロンを添加したので、結晶欠陥が存在しないシリコン単結晶インゴットを、引き上げ速度1.0mm/minという高速度で引き上げることができる。その結果、結晶欠陥が存在しない活性層13を有する貼り合わせSOI基板を、従来の活性層用ウェーハに低速引き上げウェーハを採用した場合よりも高スループットで、歩留りも大きく作製することができる。しかも、実施例1ではシリコン単結晶インゴット中のボロン濃度を増大させるだけでよいので、このような貼り合わせSOI基板を低コストで作製することができる。

- [0042] また、シリコン酸化膜12aの形成時において、活性層用ウェーハ10にはあらかじめボロンが高濃度に添加されているので、シリコン酸化膜12aの形成速度が速まる。そのため、貼り合わせSOI基板のスループットがさらに高められる。しかも、この活性層用ウェーハ10の酸化過程では、ボロンの固溶度の差により、シリコン酸化膜12aに活性層用ウェーハ10中のボロンが局在（偏析）する。その結果、活性層13のボロン濃度は約1/2程度まで低減される。この場合、剥離後のSOI層表面の平坦化、薄膜化処理を研磨によって実施したが、これを犠牲酸化法を適応することで更にボロン濃

度を低減させることも可能である。

- [0043] このように、活性層用ウェーハ10にボロンを高濃度に添加すると、活性層用ウェーハ10のシリコン内では、帯電した空孔の発生およびキンクサイトの発生がそれぞれ促進される。そのため、水素のイオン注入による活性層用ウェーハ10の結晶欠陥の回復が速められる。その結果、このイオン注入による活性層13のダメージが低減され、活性層13の高品質化が図れる。

さらに、活性層用ウェーハ10は、比抵抗 $\rho$ が $10\text{m}\Omega\text{cm}$ 未満、格子間酸素原子濃度 $O_i$ が $12\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 未満、シリコン酸化膜12aの形成温度が $1000^\circ\text{C}$ を超える製造条件を満足している。そのため、剥離後も活性層用ウェーハ10の残部には、酸素析出物やOSFなどの結晶欠陥が発生しない。その結果、活性層用ウェーハ10の再使用が可能となる。

- [0044] なお、シリコン酸化膜12aの形成後または剥離後には、水素ガスまたは他の還元ガス雰囲気、活性層用ウェーハ10または貼り合わせウェーハ30に対して $1000^\circ\text{C}$ 以上、1時間以上のアニール処理を施してもよい。これにより、活性層用ウェーハ10の表層付近または活性層13におけるボロンの外方拡散が促進される。その結果、活性層13の比抵抗を低減させることができる。

## 実施例 2

- [0045] 次に、図2に示す工程図を参照し、この発明の実施例2の貼り合わせウェーハの製造方法を説明する。実施例2の特徴は、ボロン濃度が $1\times 10^{19}\text{atoms}/\text{cm}^3$ の活性層用ウェーハ10に代えて、ボロンを高濃度に含む単結晶シリコン製のエピタキシャル層40が表面に成長され、かつバルク全体にはボロンを低濃度に含んだ活性層用ウェーハ10Bを採用した例である。

- [0046] 以下、実施例2の貼り合わせウェーハの製造方法を具体的に説明する。

まず、図2のS201工程に示すように、ボロンが約 $1\times 10^{15}\text{atoms}/\text{cm}^3$ と低濃度に添加されたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度は、 $1.0\text{mm}/\text{min}$ である。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを順次施す。これにより、厚さ $725\mu\text{m}$ 、直径 $200\text{mm}$ 、比抵抗 $10\Omega\text{cm}$ 、p型の鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20とが

、それぞれ作製される。

- [0047] その後、活性層用ウェーハ10を図示しないエピタキシャル成長装置に挿入し、活性層用ウェーハ10の鏡面仕上げされた表面に、ボロンが $1 \times 10^{19} \text{ atoms/cm}^3$ と多量に添加されたP<sup>+</sup>型のエピタキシャル層40を成長させる。

すなわち、図2のS202工程に示すように、活性層用ウェーハ10をエピタキシャル成長装置の反応炉に配備されたサセプタに載置する。その後、 $\text{SiHCl}_3$ ガス(0.1体積%  $\text{H}_2$ ガス希釈)に $\text{B}_2\text{H}_6$ ガス(分圧 $2 \sim 4 \times 10^{-5}$ )を混合し、全体で80リットル/m<sup>3</sup>inで反応炉に供給し、活性層用ウェーハ10の表面にエピタキシャル層40を成長させる。エピタキシャル成長温度は1100℃、エピタキシャル成長時間は2分間である。こうして、活性層用ウェーハ10の表面に厚さ約0.6 μm、比抵抗約9mΩ cmのエピタキシャル層40が成長される。

- [0048] 次に、図2のS203工程に示すように、活性層用ウェーハ10を熱酸化装置に挿入し、酸素ガス雰囲気中で熱酸化処理を施す。これにより、エピタキシャル層40の表面を含む活性層用ウェーハ10の露出面の全域に、厚さ0.15 μmのシリコン酸化膜12aが形成される。熱処理条件は1000℃、180分間である。

- [0049] 次に、図2のS204工程に示すように、エピタキシャル層40の表面からその所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、50keVの加速電圧で水素をイオン注入する。これにより、エピタキシャル層40に、水素イオン注入領域14が形成される。このときのドーズ量は、 $5 \times 10^{16} \text{ atoms/cm}^2$ である。

- [0050] 続いて、図2のS205工程に示すように、活性層用ウェーハ10の表面と支持用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜12aを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10, 20を貼り合わせて貼り合わせウェーハ30を作製する。このとき、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20とが、シリコン酸化膜12aを介して接合し、この接合部分のシリコン酸化膜12aが埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)12bとなる。

- [0051] それから、図2のS206工程に示すように、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離熱処理装置に挿入し、500℃の炉内温度、窒素ガスの雰囲気中で30分間だけ剥離熱処理する。この熱処理により、支持用ウェーハ20の貼り合わせ界面側に活性層13を

残し、活性層用ウェーハ10を水素イオン注入領域14から剥離する低温熱処理が施される。

- [0052] 剥離後、図2のS207工程に示すように、貼り合わせウェーハ30に対して、1100℃、2時間の貼り合わせ熱処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20との貼り合わせ強度が増強される。

次いで、図2のS208工程に示すように、活性層13の表面が研磨装置により研磨される。こうして、スマートカット法による貼り合わせSOI基板(貼り合わせウェーハ)が作製される。

- [0053] このように、剥離時には、埋め込みシリコン酸化膜12bを介して、支持用ウェーハ20側に活性層13を残し、活性層用ウェーハ10の残部が剥離される。よって、スマートカット法を採用した貼り合わせSOI基板において、結晶欠陥が存在しない活性層13を有する貼り合わせSOI基板を、従来の低速引き上げウェーハよりも高スループットで、しかも歩留りが大きい高速引き上げウェーハを利用して作製することができる。さらに、その製造においてはシリコン単結晶インゴット中のボロン濃度を高めるだけでよい。そのため、活性層13に結晶欠陥が存在しない貼り合わせSOI基板を低コストで作製することができる。

その他の構成、作用および効果は、実施例1と同様であるので説明を省略する。

- [0054] ここで、実際に本発明法および従来法について、剥離工程後の活性層用ウェーハのBMD(Bulk Micro Defect:内部微小欠陥)とOSF(Oxidation Induced Saacking Fault)とについて、比較調査した結果を報告する。

評価方法としては、活性層用ウェーハを1000℃、16時間熱処理後、活性層用ウェーハをエッチングするライトエッチ評価法を採用した。具体的には、エッチング液( $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{CrO}_3:\text{Cu}(\text{NO}_3)_2:\text{H}_2\text{O}:\text{CH}_3\text{COOH}=60\text{cc}:30\text{cc}:30\text{cc}:2\text{g}:60\text{cc}:60\text{cc}$ )により2 $\mu\text{m}$ エッチングし、光学顕微鏡で欠陥を測定する評価方法である。剥離後のBMD/OSFの評価は $5\times 10^3/\text{cm}^2$ を基準とし、それ未満では良(O)、それ以上では不良(X)とした。その結果を表1に示す。

- [0055] [表1]

	支持用ウェーハの B濃度	活性層用ウェーハの O <sub>i</sub> 濃度	BOX形成温度	剥離後のBMD ／OSF評価
試験例1	$1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ (9 mΩ cm)	$1.1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	1000℃	○
試験例2	$1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ (9 mΩ cm)	$1.2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	1000℃	○
比較例1	$1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ (9 mΩ cm)	$1.2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	950℃	×
比較例2	$1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ (9 mΩ cm)	$1.3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	1000℃	×
比較例3	$5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ (15 mΩ cm)	$1.2 \times 10^{17} / \text{cm}^3$	1000℃	×

[0056] 表1から明らかなように、本発明に係る結果である試験例1～試験例2は、いずれもBMD／OSFの評価は $5 \times 10^3$ 個／ $\text{cm}^2$ 未満で、比較例1～比較例3に比べて改善された。比較例1の場合には、埋め込みシリコン酸化膜の形成温度が1000℃未満であるため、剥離後の活性層用ウェーハの残部に $5 \times 10^3$ 個／ $\text{cm}^2$ を若干超える結晶欠陥が存在し、活性層用ウェーハ10の再使用には不適であった。

## 請求の範囲

- [1] 活性層用ウェーハに、ボロンが含まれたエピタキシャル層を成長させるエピタキシャル成長工程と、  
 該エピタキシャル層の表面に絶縁膜を形成する絶縁膜形成工程と、  
 上記絶縁膜の形成後、上記エピタキシャル層の所定深さ位置に軽元素をイオン注入してイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、  
 イオン注入後、上記活性層用ウェーハと支持用ウェーハとを、上記絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、  
 該貼り合わせウェーハを熱処理し、上記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、上記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせウェーハの製造方法。
- [2] 上記エピタキシャル層に含まれるボロン濃度は $5 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上である請求項1に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。
- [3] 上記エピタキシャル層の厚さが $0.3 \mu\text{m}$ 以上である請求項1または請求項2に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。
- [4] 上記イオン注入領域は、上記エピタキシャル層内に形成される請求項1～請求項3のいずれか1項に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。
- [5] 上記絶縁膜の厚みは、 $0.2 \mu\text{m}$ 未満である請求項1～請求項4のいずれか1項に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。
- [6] 絶縁膜が形成され、 $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ 以上のボロンを含有し、 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$  (old ASTM) 未満の酸素濃度を有する活性層用ウェーハの所定深さ位置に軽元素をイオン注入し、上記活性層用ウェーハにイオン注入領域を形成するイオン注入工程と、  
 その後、イオン注入された活性層用ウェーハと支持用ウェーハとを、絶縁膜を介在して貼り合わせ、貼り合わせウェーハを形成する貼り合わせ工程と、  
 該貼り合わせウェーハを熱処理し、上記イオン注入領域内に軽元素バブルを形成させることで、上記所定深さ位置から活性層用ウェーハの一部を剥離し、活性層を形成する剥離工程とを備えた貼り合わせウェーハの製造方法。

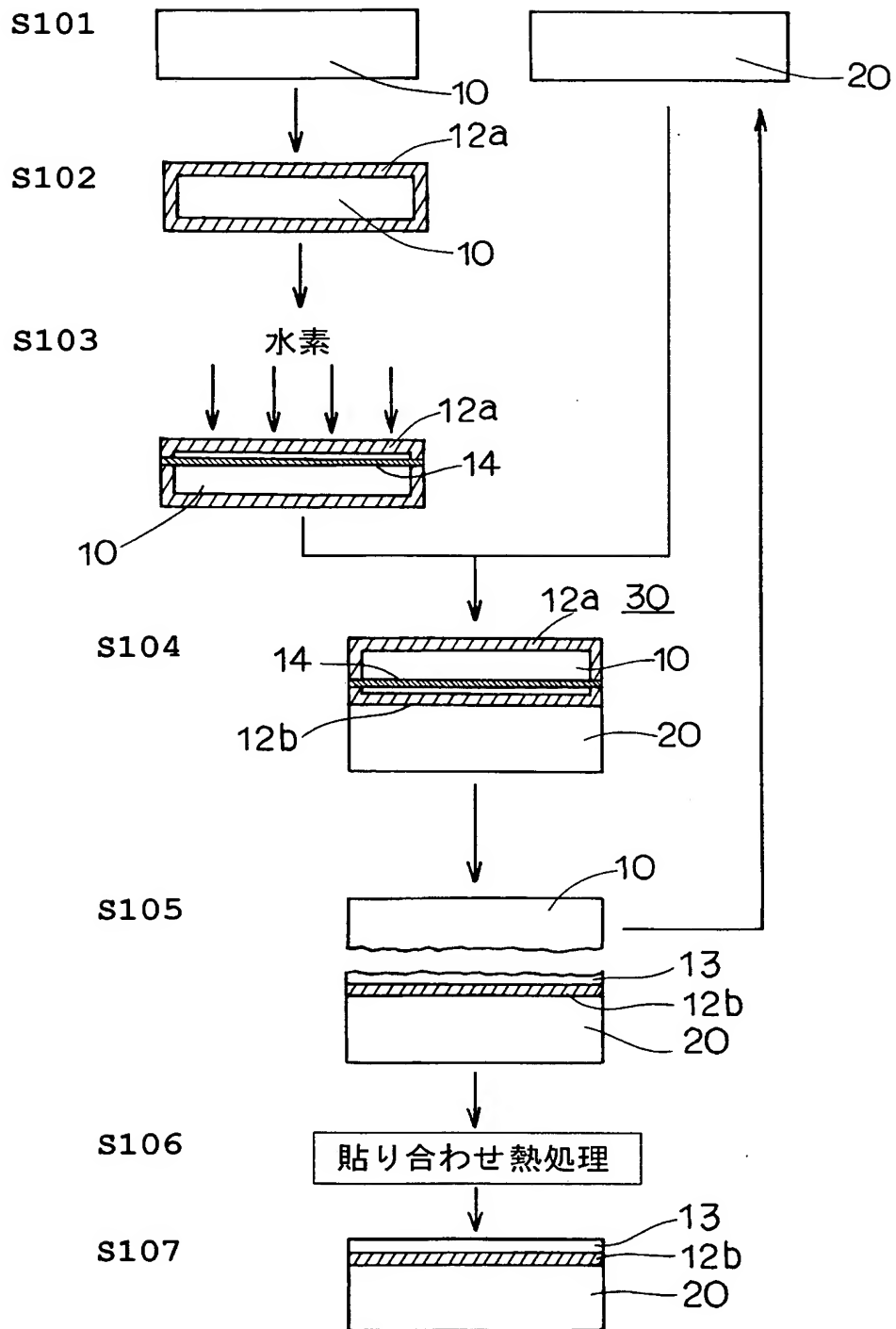


- [7] 上記活性層用ウェーハへの絶縁膜の形成後または上記活性層用ウェーハの剥離後に、水素ガスを含む還元ガス雰囲気、上記活性層用ウェーハまたは貼り合わせウェーハに対して1000℃以上、1時間以上のアニール処理を施す請求項1～請求項6のいずれか1項に記載の貼り合わせウェーハの製造方法。

## 要 約 書

活性層用ウェーハ10に $9 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ を超えるボロンを添加し、活性層を結晶欠陥が存在しない貼り合わせSOI基板とする。活性層用ウェーハのボロン濃度が高いので、シリコン酸化膜の形成速度は速い。その結果、スループットが高いスマートカットウェーハを得ることができる。しかも、活性層のイオン注入によるダメージが低減され、活性層の高品質化が図れる。

[図1]



[図2]

